

Дарья Эйнуллаевна Сафарова^{1*}, Ксения Олеговна Базалеева¹

¹Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия

*safarova10ab@mail.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT23, ПОЛУЧЕННОГО ПРЯМЫМ ЛАЗЕРНЫМ ВЫРАЩИВАНИЕМ

В работе было исследовано влияние мощности и скорости перемещения лазерного луча на структуру и свойства титанового сплава VT23, полученного прямым лазерным выращиванием. Мощность лазера варьировалась от 700 до 1300 Вт, а скорость перемещения лазера от 600 до 1000 мм/мин. Данное исследование показывает, что изменение мощности и скорости лазера оказывает существенное влияние на параметры формирования макро- и микроструктуры сплава. Установлено, что с увеличением мощности лазера повышается твердость выращиваемого материала.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прямое лазерное выращивание, титановые сплавы, сложные сплавы, микроструктура.

Daria E. Safarova, Ksenia O. Bazaleeva

STRUCTURE AND PROPERTIES OF TITANIUM ALLOY VT23 OBTAINED BY DIRECT LASER GROWTH

The work investigated the influence of the laser beam power and speed on the structure and properties of the VT23 titanium alloy obtained by direct laser growth. The laser power varied from 700 to 1300 W, and the laser speed from 600 to 1000 mm/min. This study shows that changing the laser power and speed has a significant effect on the parameters of the formation of the alloy macro- and microstructure. It was found that with an increase in the laser power, the hardness of the grown material increases.

Keywords: additive technology, direct laser deposition, titanium alloys, complex alloys, microstructure.

В последнее время аддитивные технологии (АТ) привлекают достаточно много внимания со стороны исследователей в различных областях науки и техники. Преимущества АТ позволяют совершенствовать производственный процесс. Среди множества видов технология прямого лазерного выращивания отличается такими преимуществами как высокая скорость осаждения материала, что позволяет создавать функционально градуированные структуры материала, а также возможность создавать сложнопрофильные заготовки с конфигурацией, приближенной к конечной детали.

Титановые сплавы обладают высоким прочностным характеристикам, отличным механическим свойствам при комнатной и повышенных температурах, а также превосходной коррозионной стойкостью [1-2]. Сплавы

на основе титана являются перспективными кандидатами для их применения в аддитивном производстве, однако большинство исследований направлены на небольшой спектр систем легирования [4-6]. Таким образом, анализ структуры и свойств комплексно легированных титановых сплавов является перспективным направлением исследований.

Целью данной работы являлось изучение структурно-фазового состояния титанового сплава BT23 в зависимости от параметров процесса прямого лазерного выращивания, а также влияние этих параметров на свойства материала.

Объектами исследования выступали образцы различной конфигурации, полученные лазерным выращиванием из титанового сплава BT23, состав которого приведен в таблице 1. В процессе выращивания варьировались такие параметры как мощность и скорость лазерного луча, а также перекрытие между единичными треками. Прямое лазерное выращивание осуществлялось на установке *InssTek MX-Grande*, параметры процесса представлены в таблице 2.

Таблица 1

Состав титанового порошка BT23

Массовая доля химических элементов, %									
<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>V</i>	<i>Mo</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>	<i>O</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>C</i>
осн.	4.8	4.5	2.6	1.2	0.4	0.12	0.004	0.018	0.03

Таблица 2

Технологические параметры процесса прямого лазерного выращивания

Скорость подачи порошка	10 г/мин
Мощность лазера	700 ÷ 1300 Вт, шаг 100 Вт
Скорость сканирования	600 ÷ 1000 мм/мин, шаг 200 мм/мин

Особенности структуры, полученного материала исследовались при помощи светового оптического микроскопа *Olympus GX-51* в диапазоне увеличений $\times 50 - \times 1000$. Фазовый состав анализировался на дифрактометре *Advance (Bruker)* со схемой фокусировки по Брэггу-Брентано, в интервале углов $2\theta = 30 - 100^\circ$ с шагом $\Delta 2\theta = 0.02^\circ$ и экспозицией 2 сек.

Микротвердость материала определялась по методу Виккерса на микротвердомере *Pruftechnik KB50 SR*, с нагрузкой 200 г.

По результатам оптической металлографии было выявлено, что в микроструктуре материала присутствует два вида полос, характеризующихся различным травлением. Снимки микроструктуры исследуемого материала в двух сечениях – продольном (YZ) и поперечном (XY) представлены на рисунке 1. Согласно литературным источникам широкие темные области – это полосы термического воздействия, а узкие линии – это межслоевые полосы, показанные на снимках синими стрелками [6-7]. Полосы термического воздействия присутствуют в перекрытии двух слоев, где происходит

повторное термическое воздействие во время последовательного выращивания. Такое термическое воздействие приводит к перекристаллизации, что объясняет различие в травимости структурных составляющих. Межслоевые полосы распределены равномерно и представляют собой границы ванн расплава.

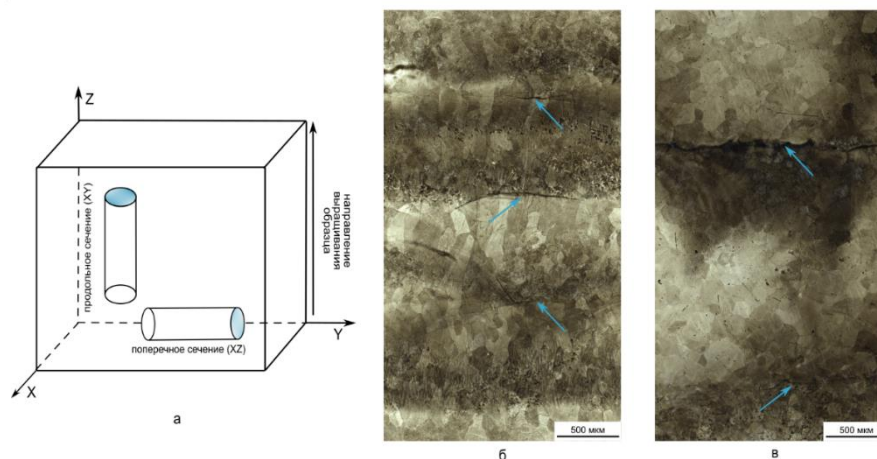


Рисунок 1 – Микроструктура сплава VT23, полученного ПЛВ:
а – схема, б – направление YZ, в – направление XY

Методом рентгенофазового анализа установлено, что полученный материал имеет характерный состав представленный α - и β -фазами.

Уровень микротвердости полученного материала незначительно отличается в зависимости от направления выращивания и равен $485 \pm 5 \text{ HV}_{0.2}$ в направлении XY и $490 \pm 20 \text{ HV}_{0.2}$ в направлении YZ.

По результатам исследования было выявлено, что структура сплава, в отличие от микротвердости, различается в зависимости от направления выращивания объекта. Полученный материал имеет характерный фазовый состав представленный α - и β -фазами, α' -фазы не было обнаружено.

Публикация выполнена в рамках проекта НИР № 202514-0-000 Системы грантовой поддержки научных проектов РУДН».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Металловедение титана и его сплавов / С.П. Белов, М.Я. Брун, С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев; под общ. ред. С.Г. Глазунова и Б.А. Колачева. – М.: Металлургия. – 1992. – 352 с.
2. Herzog D., Seyda V., Wycisk E., Emmelmann C. Additive manufacturing of metals // Acta Materialia. – 2016. – Т. 117. – С. 371-392.
3. Хорев А. И. Разработка конструкционных титановых сплавов для изготовления деталей и узлов авиакосмической техники // Сварочное производство. – 2009. – Т. 3. – С. 13-23.
4. Nguyen H. D., Pramanik A., Basak A. K., Dong Y., Prakash C., Debnath S., Buddhi D. A critical review on additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy:

Microstructure and mechanical properties //Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – T. 18. – C. 4641-4661.

5. Wang K., Fang Z., Li H., Yang, S. Special interlayer pause strategy for controlling grain morphology and tensile property anisotropy of TC11 alloys fabricated by directed energy deposition technology //Materials Science and Engineering: A. – 2024. – T. 896. – C. 146273.
6. Liu Z., He B., Lyu T., Zou Y. A review on additive manufacturing of titanium alloys for aerospace applications: directed energy deposition and beyond Ti-6Al-4V //Jom. – 2021. – T. 73. – C. 1804-1818.
7. He B., Li J., Cheng X., Wang H. M. Brittle fracture behavior of a laser additive manufactured near- β titanium alloy after low temperature aging //Materials Science and Engineering: A. – 2017. – T. 699. – C. 229-238.

REFERENCES

1. Belov S.P., Brun M.Ya., Glazunov S.G., Kolachev B.A. Metallurgy of titanium and its alloys / under the general editorship of S.G. Glazunov and B.A. Kolachev. – Moscow: Metallurgiya. – 1992. – 352 p.
2. Herzog D., Seyda V., Wycisk E., Emmelmann C. Additive manufacturing of metals // Acta Materialia. – 2016. – Vol. 117. – P. 371-392.
3. Khorev A.I. Development of structural titanium alloys for manufacturing components and assemblies of aerospace technology // Welding Production. – 2009. – Vol. 3. – P. 13-23.
4. Nguyen H.D., Pramanik A., Basak A.K., Dong Y., Prakash C., Debnath S., Buddhi D. A critical review on additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy: Microstructure and mechanical properties // Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – Vol. 18. – P. 4641-4661.
5. Wang K., Fang Z., Li H., Yang S. Special interlayer pause strategy for controlling grain morphology and tensile property anisotropy of TC11 alloys fabricated by directed energy deposition technology // Materials Science and Engineering: A. – 2024. – Vol. 896. – P. 146273.
6. Liu Z., He B., Lyu T., Zou Y. A review on additive manufacturing of titanium alloys for aerospace applications: directed energy deposition and beyond Ti-6Al-4V // JOM. – 2021. – Vol. 73. – P. 1804-1818.
7. He B., Li J., Cheng X., Wang H.M. Brittle fracture behavior of a laser additive manufactured near- β titanium alloy after low temperature aging // Materials Science and Engineering: A. – 2017. – Vol. 699. – P. 229-238.